# Diseño del mecanismo de giro de la estatua que corona la cúpula de la Lonja del Comercio de La Habana.

**M. Fernández Salgado*, C. Novo Soto*, O. del Castillo del Prado**, R. Hernández Alfonso***.**
* Departamento de Mecánica Aplicada, Instituto Superior Politécnico *José Antonio Echeverría*.
Calle 114 esq. 127, Marianao 15, Ciudad de la Habana, Cuba, Teléfono: (537) 260 2267 Fax: (537) 267 1208.
** Oficina del Historiador de la Habana. Cuba.
***Inmobiliaria Áurea S.A. Cuba.
E-mail: novo@mecanica.ispjae.edu.cu

(Recibido el 8 de Octubre del 2001, aceptado el 10 de Diciembre del 2001).

**Resumen**

A partir de una solicitud de la Oficina del Historiador de la Habana se conformó un grupo de trabajo integrado por los autores antes mencionados para diseñar un mecanismo de giro, bajo la acción del viento, que permitiera que la estatua del mitológico Mercurio, ubicada en la cúpula de la Lonja del Comercio de La Habana, pudiera girar y de esta forma presentar la menor resistencia a la fuerte acción del viento que se genera en la señalada zona.

Para evaluar la resistencia de los elementos que componen el mecanismo, determinar la calidad de los materiales a emplear, definir los refuerzos necesarios y precisar el apriete de los pernos de fijación se utilizó el Método de los Elementos Finitos, el cual a través de la modelación físico matemática del sistema permite obtener las isozonas de tensiones equivalentes, las isozonas de desplazamientos y las fuerzas actuantes en los lugares de fijación.

Como resultado del trabajo realizado se diseñó y construyó el mecanismo de giro para la estatua, el que se encuentra instalado y funcionando de acuerdo a los requisitos solicitados desde el pasado mes de marzo del año en curso.

**Palabras claves: diseño, rodetes de bola, resistencia mecánica, elementos finitos.**

## 1. Introducción.

En el presente trabajo se aborda el diseño de un sistema para lograr la rotación de la estatua del dios Mercurio bajo la acción del viento. Para alcanzar el objetivo antes señalado y como se muestra en la Fig. 1 se concibió un tubo guía, el que introducido por uno de sus extremos por dentro de la estatua y el otro extremo acoplado a un aro base, que se fija al rodete de bolas 650 L de la firma JOST y que a su vez conjuntamente con el aro soporte van anclados al ático de la cúpula del edificio, permiten que la estatua fijada al tubo guía pueda girar por la acción del viento con relación al aro inferior del rodete de bolas que se encuentra fijo con respecto al ático.

De la Fig. 2 a la Fig. 6 se muestran los esquemas de las partes que componen el sistema rotatorio de la estatua del Mercurio, indicándose en la Fig. 7 las posiciones y dimensiones de los agujeros a ejecutar en el rodete para lograr la fijación del aro inferior al ático y el acoplamiento del tubo guía con el aro base al aro superior del rodete para posibilitar el giro de la estatua.

Finaliza el diseño del sistema rotatorio con un listado de los materiales necesarios, con las especificaciones requeridas, para garantizar el adecuado funcionamiento del sistema.

Para garantizar el buen funcionamiento del sistema, el rodete de bolas debe montarse sobre cuerpos planos y rígidos de manera tal que al menos el 50% de su circunferencia esté apoyada. Las zonas de fijación deben ser repartidas proporcionalmente en el sentido longitudinal y transversal, asegurando que el rodete esté apoyado en la zona del alojamiento de las bolas. Para compensar eventuales diferencias en la planicidad se pueden emplear arandelas de acero o de plástico. Cada anilla del rodete debe ser sujetada por 8 tornillos M12 de calidad 8.8, evitándose taladrar en la zona de la placa de fabricación ( abertura para la introducción de las bolas). No se admite el montaje del rodete por medio de soldadura. El rodete lleva una lubricación de base; antes de ponerlo en servicio debe relubricarse abundantemente con una grasa de extrema presión, de forma que la grasa salga por entre las anillas para evitar la penetración de cuerpos extraños y de agua. Mensualmente debe lubricarse el rodete, el giro simultáneo de las anillas facilita la distribución del lubricante, así mismo debe verificarse el apriete de los tornillos.

© 2002– Ediciones MECANICA.

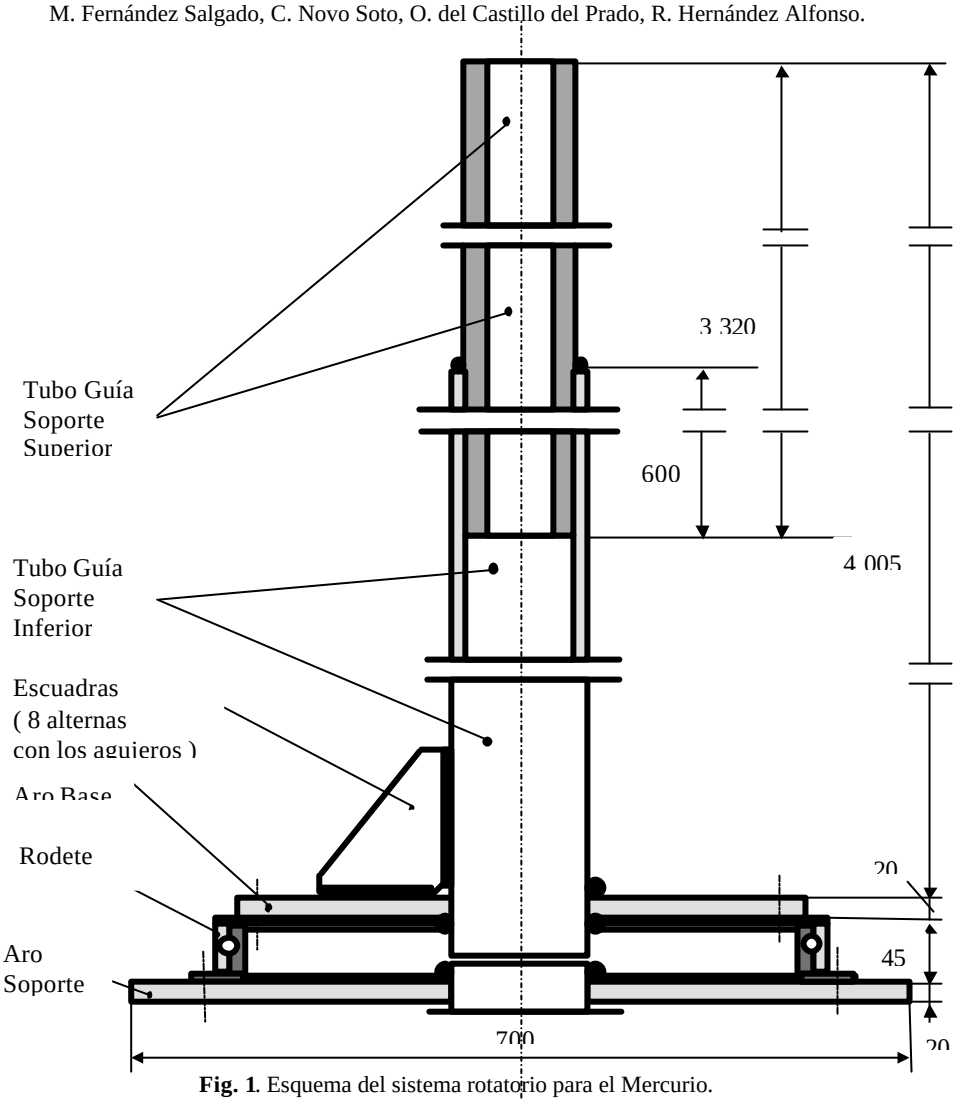


**Fig. 1**. Esquema del sistema rotatorio para el Mercurio.

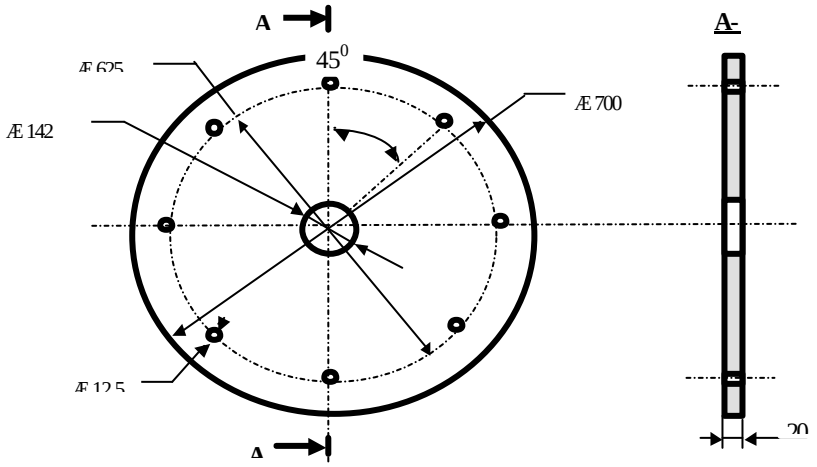


**Fig. 2**. Esquema del aro soporte.

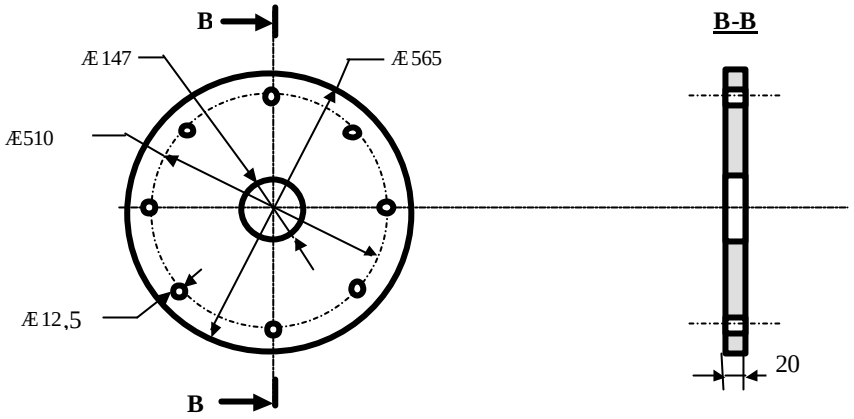


**Fig. 3**. Esquema del aro base.

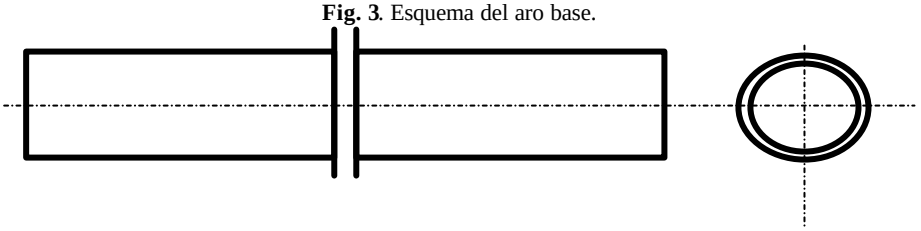

**Fig. 4.** Esquema del tubo guía soporte inferior.

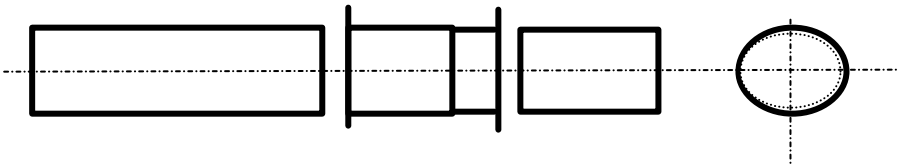

**Fig. 5**. Esquema del tubo guía soporte superior.

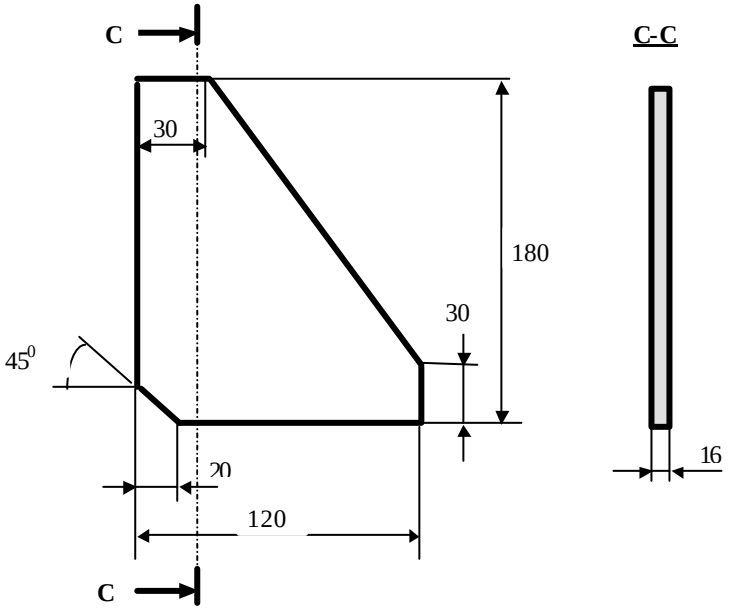


**Fig. 6**. Esquema de la escuadra.

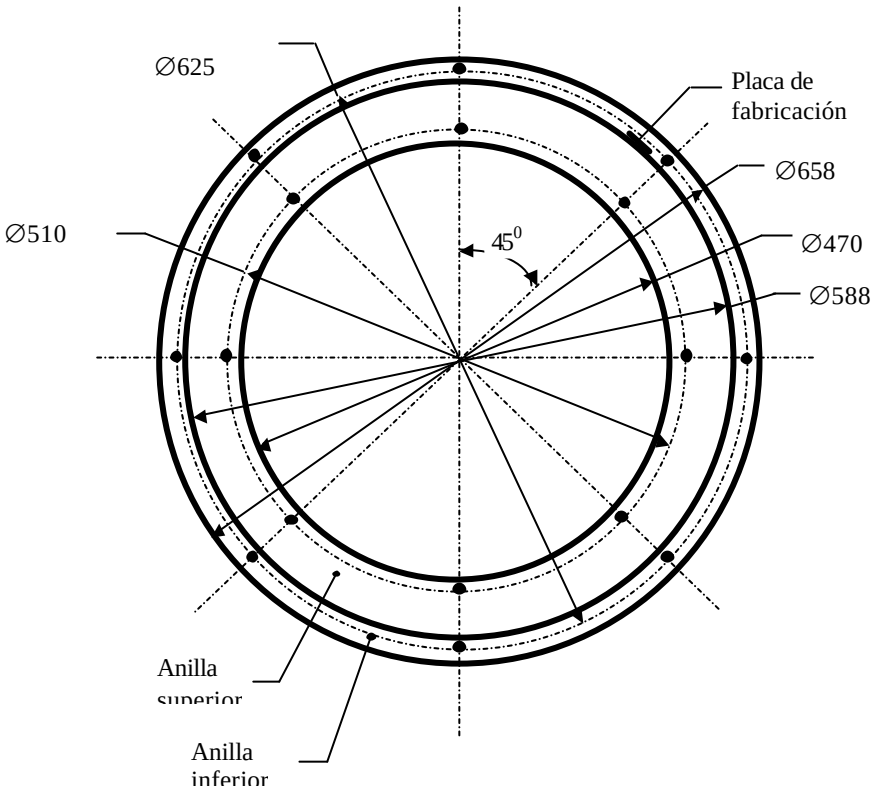


**Fig. 7**. Esquema de la posición de los agujeros de fijación en el rodete JOST 650 L.

## 2. Listado de materiales.

- Aro soporte de acero, ver Fig. 2, espesor 20 mm. Cantidad: 1
- Aro base de acero, ver Fig. 3, espesor 20 mm. Cantidad: 1
- Tubo guía soporte inferior de acero, ver Fig. 4, diámetro exterior 146 mm, espesor 10,7 mm y la longitud de 1 325 mm. Cantidad: 1
- Tubo guía soporte superior de acero K, ver Fig. 5, diámetro exterior 127 mm, espesor 10 mm y la longitud de 3 220 mm. Rebajado a 124,6 mm de diámetro en una longitud de 600 mm. Cantidad: 1
- Escuadras de acero, ver Fig. 6, espesor 16 mm. Cantidad: 8
- 8 tornillos M12 de acero con tuercas y contratuercas o arandelas y longitud máxima (sin considerar la cabeza del tornillo) de 60 mm.
- 8 pernos de anclaje M12 de acero (8.8) con tuercas y contratuercas o arandelas y longitud mínima de 200 mm.

Seguidamente y con el objetivo de realizar una valoración resistiva del sistema se efectúa la determinación de la magnitud de la fuerza del viento sobre el sistema rotatorio.

## 3. Determinación de la fuerza del viento sobre la estatua de Mercurio.

La acción del viento, según establece la Norma Cubana [1], NC 53-41; 90, plantea como expresión de cálculo:

$q_i = q_{10}\, C_T\, C_S\, C_H\, C_R\, C_{RA}\, C_F$

donde:

$q_i$, presión del viento en el sitio y a la altura deseada en kN / m$^2$.

$q_{10}$, presión básica a 10,00 m de altura.

$C_T$, coeficiente que tiene en cuenta la recurrencia.

$C_S$, coeficiente de sitio.

$C_H$, coeficiente de altura.

$C_R$, coeficiente de ráfaga.

$C_{RA}$, coeficiente de reducción de área expuesta.

$C_F$, coeficiente de forma.

De acuerdo con la Norma se considera que la estatua será ubicada en un terreno categoría "A".

En Ciudad de la Habana ( zona I ).

$q_{10}$ = 1,30 kN / $m^2$.

-Por seleccionarse un tiempo de recurrencia de 100 años,

$C_T$ = 1,15

- Por la característica de la topografía;

$C_S$ = 1,10

- Para terrenos categoría "A":

$C_H = ( Z_i / 10 )^{0,32}$

Donde:

$Z_i$ altura máxima será la suma de:

| | |
|---|---|
| Altura del edificio hasta la terraza: | 400 m |
| Altura del ático: | 4,00 m |
| Altura de la cúpula: | 7,00 m |
| Diámetro de la esfera: | 1,50 m |
| Altura del Mercurio: | 4,55 m |
| Altura máxima $Z_i$: | 51,05 m |
| $C_H$ | 1,68 |

Para terrenos categoría "A", de acuerdo a la altura de:

$Z_i$ = 50,00 m

$C_R$ = 1,09

Considerando :

$C_{RA}$ = 1,0

Para la estatua, considerada como sólido:

$C_F$ = 0,8 + 0,5 = 1,3 (acción conjunta de la presión y la succión, barlovento y sotavento)

Finalmente, la acción del viento, considerándola uniforme a lo largo de la esfera y la estatua de Mercurio será:

$q_i$ = 1,30 x 1,15 x 1,0 x 1,68 x 1,09 x 1,0 x 1,3 = 3,56 kN / $m^2$

Si la acción del viento se considera actuando sobre una superficie plana de 1,00 m de ancho y teniendo en cuenta un coeficiente de mayoración de 1,3, la fuerza uniformemente distribuida linealmente del viento, $q_V$ sobre la estatua y la esfera será de:

$q_V$ = 4 628 N / m

## 4. Valoración resistiva del tubo guía y el aro base empleando el Método de los Elementos Finitos.

A partir del valor de la fuerza del viento sobre el sistema rotatorio y conociendo los lugares de fijación del tubo guía al aro base se modeló el sistema mediante la aplicación del Método de los Elementos Finitos [1], obteniendo de esa forma las isozonas de tensiones equivalentes promedios de Mises [2], que se muestran en la Fig.8 y que se detallan en las Fig. 9 y 10. Finalmente se da a conocer en la Fig. 11 la gráfica de las tensiones equivalentes máximas de Mises para cada uno de los elementos que componen el tubo guía, las escuadras de refuerzo y el aro base, como resultado de la discretización realizado al sistema al aplicar el Método de los Elementos Finitos.

Cabe señalar que al modelar el sistema de fijación de la estatua se tuvo en cuenta la acción del viento, el peso total de la estatua de aproximadamente 1 ton, el peso de la bola de aproximadamente 100 kg el peso propio del tubo guía, del aro base y las escuadras y se restringieron los 6 grados de movilidad [ 3 ] de los nodos del aro base, donde se encuentran los tornillos de fijación del aro base al aro superior del rodete.

Al analizar las isozonas de tensiones equivalentes promedios de Mises en las Fig.8, 9 y 10 se observa que las tensiones mayores son de 920 MPa, pero ellas no son representativas, pues se encuentran en la zona superior del tubo guía, donde se concentraron en el modelo las fuerzas de la acción del viento, sin embargo en la zona inferior del tubo guía las magnitudes de las tensiones sí son representativas, alcanzando las magnitudes de esfuerzos equivalentes de 480 a 530 MPa, inferiores al límite de fluencia (acero E) [4] del tubo guía de 539 MPa, por lo que para las peores condiciones de la acción del viento el tubo guía resiste, lo cual se ratifica en la Fig. 11 de la gráfica de las tensiones equivalentes máximas de Mises para cada elemento del sistema rotatorio.

Del estudio de las fuerzas que se generan en los nodos de fijación del aro base al rodete se observó, que la mayor fuerza actuante en los tornillos será de: 76240 N, lo que podrá generar un esfuerzo máximo de 674 MPa para un tornillo de 12 mm de diámetro, por lo que se recomienda que los tornillos a utilizar sean M12 de acero (8.8), como calidad mínima.

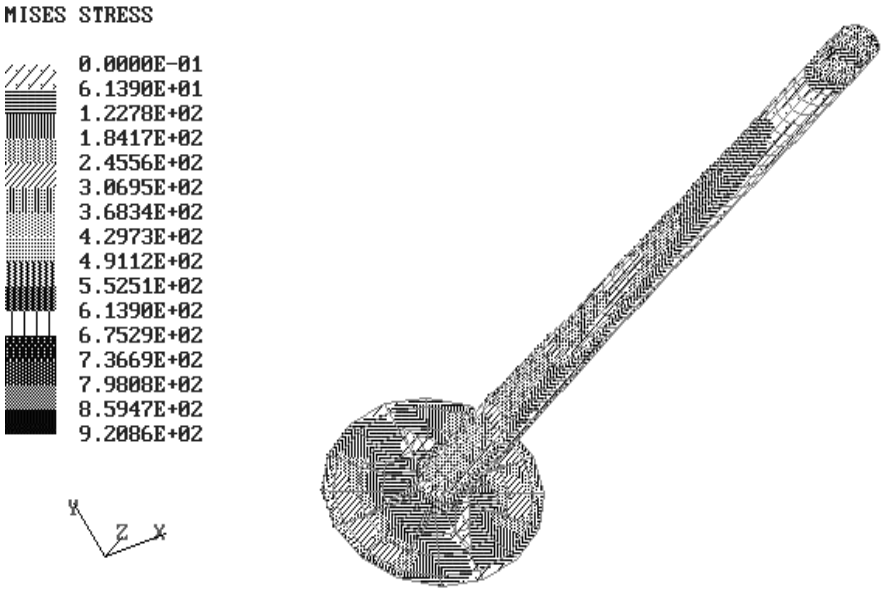


**Fig. 8**. Isozonas de los esfuerzos equivalentes promedios de Mises en el tubo guía y aro base.

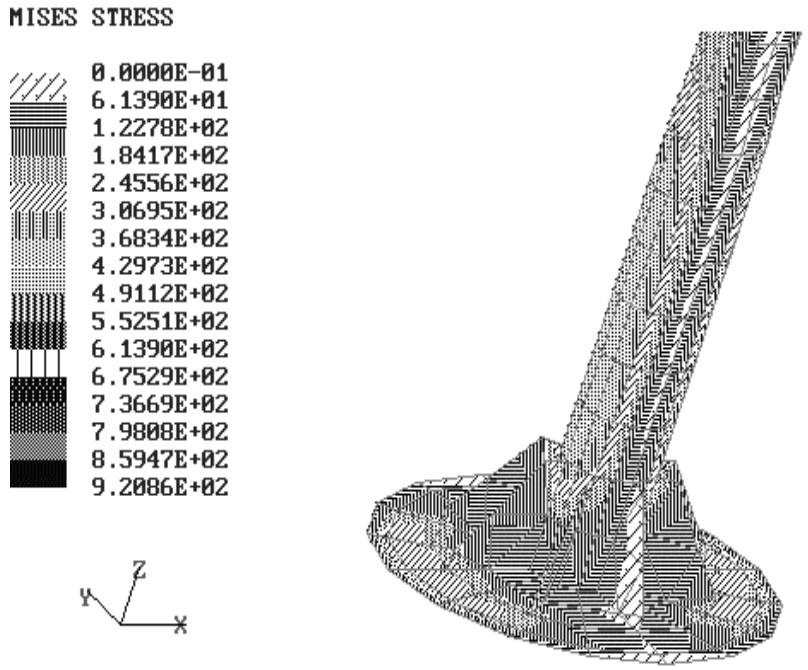


**Fig. 9**. Detalle de las isozonas de esfuerzos equivalentes promedios de Mises en la parte inferior el tubo guía y el aro base.

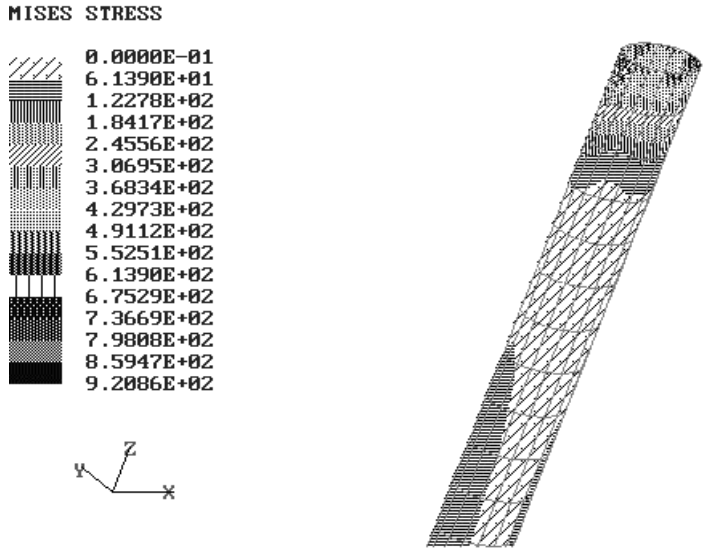


**Fig. 10**. Detalle de las isozonas de esfuerzos equivalentes promedios de Mises en la parte superior del tubo guía.

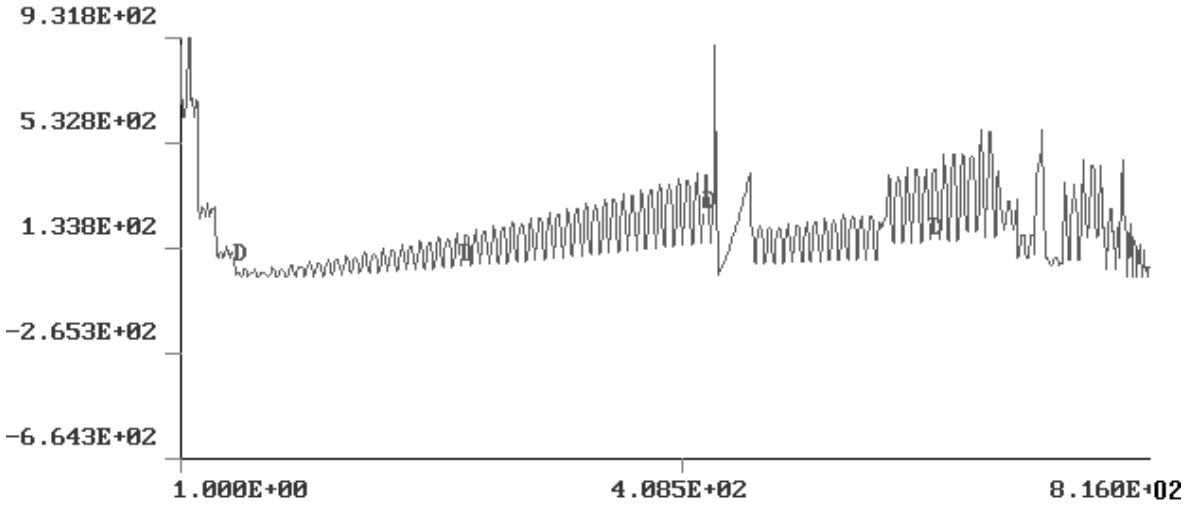


**Fig. 11**. Gráfico de esfuerzos equivalentes máximos de Mises contra el número de los elementos utilizados para discretizar el tubo guía y el aro base.

## 5. Conclusiones.

De todo el trabajo desarrollado se arriban a las siguientes conclusiones:

- Se diseñó un mecanismo de giro, bajo la acción del viento, para la estatua del Mercurio, que se encuentra en la cúpula de la Lonja del Comercio de La Habana.
- A partir de la aplicación de los cálculos, basados en el Método de los Elementos Finitos, se determinó la calidad de los aceros a emplear en los elementos que componen el mecanismo, se establecieron los refuerzos necesarios y se definieron la calidad y apriete de los pernos a utilizar para las peores condiciones de acción del viento.
- Se plantearon los requisitos de montaje del rodete, así como las condiciones de mantenimiento del mismo.

## 6. Referencias.

1.- Mac Neal-Schwendler Corporation, "Manual de Usuario MSC/pal2", 3ra Edición, USA, 1987.

2.- Feodosiev, V.I., "Resistencia de Materiales", 3ra Edición, Editorial MIR, URSS, 1985.

3.- Golubev, Y., "Teoría de Máquinas y Mecanismos", Editorial Ciencia y Técnica, La Habana, Cuba, 1967.

4.- Pisarenko, G.S., "Manual de Resistencia de Materiales", Editorial MIR, Moscú, 1985.

# Turning sistem design of the Mercurio statue located in the dome of the Lonja del Comercio de la Habana.

**Abstract.**

By request of the Havana Historian Office is created a group composed by the authors in order to design a turning mechanism, under the action of wind, for the statue of Mercurio, been located in the dome of the *Lonja del Comercio de La Haban.* This turning system should be design with the minor resistance to the strong action of the wind generated in the signal zone.

In order to evaluate the resistance of the elements for the mechanism, the quality of the materials to define the necessary reinforcements and specify the fasteners of fixation, the Finite Elements Method was utilized. The physical mathematical model of the system allowed to get the isozones of equivalent stresses, the isozones of displacements and the forces in the joining.

As a result of the carried out work was designed and constructed the turning mechanism for the statue, wich is installed and operates according the solicited requirements since of March of 2001.

**Keywords: design, ball bearing, mechanical resistance, finite elements method.**